

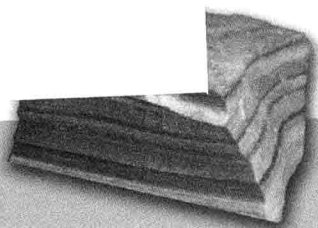


钱家麟 李术元 主 编
郭绍辉 丁福臣 副主编

油页岩 干馏炼油工艺

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)



钱家麟 李术元 主 编
郭绍辉 丁福臣 副主编

油页岩 干馏炼油工艺

中国石化出版社

内 容 提 要

本书介绍和评述了世界典型的油页岩干馏炼油工艺十余种,重点在于各种干馏炉型的工艺、特点、优缺点及其选择,也论述了地下原位干馏的工艺。本书可供从事油页岩干馏研究、开发、规划和生产的人员参考,也可供相关机构和相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

油页岩干馏炼油工艺/钱家麟,李术元主编. —北京:
中国石化出版社, 2014. 3
ISBN 978-7-5114-2542-3

I. ①油… II. ①钱…②李 III. ①油页岩干馏 IV.
①TE662.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 033764 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com

北京柏力行彩印有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 21 印张 507 千字

2014 年 3 月第 1 版 2014 年 3 月第 1 次印刷

定价:66.00 元

编 委 会

主 编 钱家麟 李术元

副 主 编 郭绍辉 丁福臣

编 委 (以姓氏笔画为序)

丁福臣 马 跃 王剑秋

李术元 岳长涛 郭绍辉

钱家麟 彭德洪 谭华平

前 言

油页岩干馏炼油可分为地上干馏和地下原位干馏两类工艺。地上干馏是指埋藏不深的油页岩经露天开采或井下开采，送至地面，经破碎筛分至所需的粒度或块度，进入干馏炉内加热干馏，生成页岩油气及页岩半焦或页岩灰；地下干馏则是指埋藏于地下较深的油页岩不经开采，直接在地下设法加热页岩使其干馏分解、生成页岩油气被导至地面。地下干馏由于油页岩不需开采，节省了开采费用；但地下干馏生成的油气易向地下岩层泄漏，故油收率不高，影响了经济效益，且易导致地下的油气污染。当前世界上地下干馏工艺还没有用于工业化生产，仅在美国有几家石油公司开展了或正筹备开展地下干馏的中型现场试验，何时能开始工业生产，尚无法预期。地上干馏虽然需要将页岩开采出来，再在适当的干馏炉内加热干馏炼油，但其油收率则比地下干馏为高，且有不少类型的干馏炉工艺比较成熟，在原油价格高企的情况下，一些地区进行干馏炼油的工业生产有较好的经济效益；当前地上干馏在中国、爱沙尼亚和巴西等三个国家都有不同规模的工业生产。

本书是一部油页岩干馏炼油的专著，重点评述世界上较典型的地上干馏炉的炉型，也阐述了多种地下原位干馏的工艺。全书共十九章：第一章为开篇；第二至第十七章每章各阐述一种干馏炉型，其中计有气体热载体块状页岩干馏炉型八种、固体热载体颗粒页岩干馏油炉型六种（一种为中试）以及固体热载体粉末页岩流化干馏中试炉型两种；第十八章则叙述了几种地下原位干馏的中试；第十九章则进行了地上干馏与地下干馏的投资与生产费用的比较，并论述了诸多地上干馏炉型的对比及炉型选择的原则及建议。全书既包括了个别历史上曾经工业化的值得参考的炉型，更囊括了当前正在工业生产的、实用的炉型，尤其着力于有较大发展前景的炉型，也阐述了几种中试炉型。全书评述了各种炉型的艰苦的开发过程、工艺流程、主要设备、干馏油收率及其产物性质、经济效益、对环境的影响等。值得提出的是，对一些较复杂炉型的关键部位的结构进行了揭示。例如葛洛特炉的固定式进出料机构与水平回转的干馏炉本体的密封连结，又如日处理6000t的直径达11m的巴西圆筒炉的半焦出料机构等，这些都是影响炉型成败的关键。

总之，本书既是一本较完整的干馏炼油工艺的专著，也反映了本书作者半个多世纪参与油页岩干馏研究与开发所获得的经验体会而进行的对世界上各种炉型的评论。本书的编委都是对油页岩事业作出贡献的专家。

本书作者曾于2008年编写出版了一本专著《油页岩——石油的补充能源》，又于2012年编写出版了一本英文专著《Oil Shale——Petroleum Alternative》。这两部著作涉及的内容很广泛，包括世界油页岩的资源、储量、地质、性质、干馏、燃烧、页岩油气的加工利用、经济和环保等方面。而本书的内容则深入地专注于阐述油页岩干馏炼油工艺，特别是对世界上典型干馏炉型的深入的比较和迄今发展的评述。因此本书并不是前面两部专著的重复，但可以认为是前面两本书的续集。

希望本书的出版对我国油页岩的发展有所促进，并对有关的能源工作者有所启示。

然而应该说明的是，本书仅介绍了油页岩经人为的加热，使其油母质被外界加入的热载体加热至约450~500℃而热解生成页岩油气及半焦的工艺，故本书并不涉及深埋于地下千余米甚至几千米以下的油页岩经千百万年甚至上亿年，由于地温（通常约百余摄氏度）的影响，其所含的油母质自然演化而生成的页岩油气及其开发的问题。

最后，感谢中国石化出版社多年来与本书作者的良好合作，出版了多本作者主编和编写的专著和词典等，也感谢国家973计划对本书出版的资助（油页岩高效油气炼制与过程节能科学基础，项目编号2014CB744302）。

目 录

第1章 油页岩干馏炼油工艺的分类	(1)
1.1 地下干馏	(1)
1.2 地上干馏	(1)
参 考 文 献	(3)
第2章 抚顺式干馏炉	(4)
2.1 抚顺炉工艺的开发历程	(4)
2.2 抚顺炉的干馏工艺原理	(7)
2.3 抚顺炉传统的油页岩破碎、筛分、干馏和冷凝回收工艺流程	(9)
2.4 抚顺炉传统工艺的主要设备	(13)
2.5 抚顺炉的运转	(24)
2.6 抚顺炉的页岩利用率、物料平衡、热平衡和热效率	(26)
2.7 抚顺炉装置的产品收率和品质	(33)
2.8 约旦拉琼油页岩在抚顺炉试验情况	(38)
2.9 抚顺页岩开采及抚顺炉装置主要公用工程消耗	(39)
2.10 抚顺炉装置的三废及其处理	(40)
2.11 抚顺炉装置的投资和效益	(41)
2.12 抚顺式干馏炉的优缺点	(42)
2.13 抚顺炉目前运行及工艺研究进展情况	(43)
参 考 文 献	(44)
第3章 茂名圆炉	(46)
3.1 茂名圆炉的发展历程——抚顺炉的改造	(46)
3.2 茂名圆炉适合茂名油页岩的干馏特性	(46)
3.3 茂名圆炉的干馏工艺和冷凝回收流程系统	(48)
3.4 茂名圆炉干馏的页岩利用率、物料平衡、油收率及热效率	(50)
3.5 雨季高含水油页岩对茂名圆炉干馏的影响	(51)
3.6 茂名油页岩干燥脱水的中型试验	(51)
3.7 茂名圆炉干馏装置的主要设备	(52)
3.8 茂名圆炉干馏产品产率、品质、及其利用	(54)
3.9 茂名油页岩开采和圆炉干馏的公用工程及能耗	(61)
3.10 茂名圆炉三废及其处理	(61)
3.11 茂名页岩油工业经济	(65)
3.12 茂名圆炉的优缺点	(66)
参 考 文 献	(67)

第4章 茂名方炉	(69)
4.1 茂名方炉的发展历程	(69)
4.2 茂名气燃式方炉的原理	(69)
4.3 茂名气燃式方炉的结构	(69)
4.4 茂名气燃式方炉装置的工艺流程	(71)
4.5 茂名气燃式方炉的操作	(72)
4.6 茂名气燃式方炉的技术经济指标	(73)
4.7 茂名气燃式方炉的页岩利用率、物料平衡及热效率	(74)
4.8 茂名气燃式方炉的产率、产品及其性质和用途	(75)
4.9 茂名气燃式方炉公用工程	(76)
4.10 茂名气燃式方炉的三废及其处理	(76)
4.11 茂名气燃式方炉的优缺点及其与圆炉的比较	(77)
4.12 气燃式方炉的发展	(78)
参 考 文 献	(78)
第5章 三江 SJ 型气燃式方炉	(80)
5.1 三江 SJ 型气燃式干馏方炉的开发和推广	(80)
5.2 三江 SJ 型气燃式煤干馏方炉的工艺和流程	(80)
5.3 三江 SJ - III 型煤干馏方炉的操作参数	(82)
5.4 三江 SJ 型气燃式煤干馏方炉装置	(83)
5.5 三江 SJ 型煤干馏方炉的产品收率、热效率和产品品质	(85)
5.6 三江 SJ 型煤干馏方炉的公用工程和用电负荷	(87)
5.7 三江 SJ 型煤干馏方炉的三废及其处理	(88)
5.8 三江 SJ 型煤干馏方炉的投资及收益	(88)
5.9 三江 SJ 型煤干馏方炉出口哈萨克斯坦共和国	(89)
5.10 甘肃窑街油页岩在三江 SJ 型气燃式方炉中型装置的试验	(91)
5.11 甘肃窑街油页岩采用三江 SJ - IV 型气燃方炉进行工业生产页岩油	(96)
5.12 三江 SJ 型气燃式方炉的优缺点	(99)
参 考 文 献	(100)
第6章 成大全循环干馏炉	(101)
6.1 成大全循环干馏炉的创建	(101)
6.2 成大全循环干馏炉的工艺原理	(102)
6.3 成大全循环干馏的工艺流程	(102)
6.4 成大全循环干馏炉的结构及其配件	(103)
6.5 成大全循环干馏工艺的操作参数	(104)
6.6 成大全循环干馏炉的热力计算	(105)
6.7 成大全循环干馏工艺的加热炉	(107)
6.8 成大全循环干馏炉工艺的优缺点	(108)

6.9 成大全循环干馏炉的发展	(108)
参 考 文 献	(108)
第7章 爱沙尼亚基维特炉(Kiviter Retort)	(109)
7.1 爱沙尼亚和俄罗斯早期的多种油页岩干馏炉型	(109)
7.2 基维特炉的发展历程	(111)
7.3 基维特炉工艺原理及流程	(112)
7.4 基维特炉的结构	(115)
7.5 基维特炉的操作和技术经济指标	(120)
7.6 基维特炉的物料平衡	(121)
7.7 基维特炉的公用工程	(122)
7.8 基维特炉的产品性质及页岩油用途	(122)
7.9 基维特炉的能耗和热效率	(125)
7.10 基维特炉的三废处理	(126)
7.11 基维特炉油页岩炼油经济	(127)
7.12 基维特炉对茂名圆炉的改造试验	(128)
7.13 基维特炉的优缺点	(129)
7.14 基维特炉的发展趋势	(130)
参 考 文 献	(130)
第8章 巴西佩特洛瑟克斯炉(Petrosix Retort)	(132)
8.1 佩特洛瑟克斯炉的发展历程	(132)
8.2 佩特洛瑟克斯炉的工艺及冷凝回收系统流程	(132)
8.3 佩特洛瑟克斯炉的流程和炉子专利关键结构	(132)
8.4 佩特洛瑟克斯 MI 炉(6000t/d)及 UPI 炉(1500t/d)装置的配套工艺流程	(150)
8.5 佩特洛瑟克斯 MI 炉(6000t/d)及 UPI 炉(1500t/d)干馏装置的主要设备	(154)
8.6 佩特洛瑟克斯炉的操作运转	(155)
8.7 佩特洛瑟克斯炉的物料平衡、产品收率及其性质	(155)
8.8 佩特洛瑟克斯炉的公用工程、能耗和热效率	(158)
8.9 佩特洛瑟克斯炉的三废处理与环境保护	(159)
8.10 佩特洛瑟克斯炉油页岩炼油经济	(160)
8.11 佩特洛瑟克斯炉的优缺点	(161)
8.12 佩特洛瑟克斯炉的发展趋势	(161)
8.13 佩特洛瑟克斯干馏工艺与成大桦甸全循环干馏工艺的对比	(161)
参 考 文 献	(162)
第9章 美国联合油公司干馏炉(Union Oil Retort)	(164)
9.1 美国联合油公司干馏炉的发展历程	(164)
9.2 联合油公司干馏炉的原理流程	(164)
9.3 联合油公司干馏炉的设备	(166)
9.4 联合油公司干馏炉的物料收率及热效率	(166)

9.5 联合油公司干馏炉的产物组成、性质和加工利用	(167)
9.6 联合油公司干馏炉的能耗和能效	(172)
9.7 联合油公司干馏炉的“三废”处理与环境保护	(172)
9.8 联合油公司干馏炉的工业经济	(173)
9.9 联合油公司干馏炉的优缺点	(173)
9.10 联合油公司干馏炉的发展前景	(173)
参 考 文 献	(173)
第 10 章 美国派拉霍炉 (Paraho Retort)	(175)
10.1 派拉霍炉的开发历程	(175)
10.2 派拉霍炉的工艺流程	(175)
10.3 派拉霍炉结构简图	(177)
10.4 派拉霍炉的操作	(177)
10.5 派拉霍炉的能效、物料平衡和热平衡	(178)
10.6 派拉霍炉的产物及其性质	(180)
10.7 派拉霍炉的公用工程	(182)
10.8 派拉霍炉的“三废”处理和环境保护	(183)
10.9 派拉霍炉经济	(183)
10.10 派拉霍炉的优缺点	(185)
10.11 派拉霍炉重新得到了发展机遇	(185)
参 考 文 献	(186)
第 11 章 爱沙尼亚葛洛特炉 (Galoter Retort)/爱耐飞特炉	(188)
11.1 葛洛特炉的发展历程	(188)
11.2 葛洛特装置的工艺流程	(189)
11.3 葛洛特装置的运转和设计数据	(192)
11.4 葛洛特装置的主要设备	(194)
11.5 葛洛特炉干馏产物的组成、性质和利用	(200)
11.6 葛洛特装置的能耗和能效	(204)
11.7 葛洛特装置的三废处理与环境保护	(204)
11.8 葛洛特装置工业经济	(205)
11.9 桦甸油页岩应用葛洛特干馏工艺的基本核算	(206)
11.10 葛洛特炉的优缺点	(211)
11.11 葛洛特炉的技术转让及工艺创新	(212)
参 考 文 献	(214)
第 12 章 加拿大塔瑟克炉 (Taciuk Retort)	(216)
12.1 塔瑟克炉的开发历程	(216)
12.2 塔瑟克装置的工艺流程	(217)
12.3 塔瑟克炉的设备及主要参数	(222)
12.4 塔瑟克装置的设计和运转情况	(223)

12.5 塔瑟克装置的物料收率及产品性质与用途	(223)
12.6 塔瑟克装置干馏炼油的能耗	(225)
12.7 塔瑟克干馏装置的三废处理	(226)
12.8 塔瑟克装置干馏炼油的投资及经济运行情况	(226)
12.9 抚顺矿务局引进塔瑟克炉(6000t 油页岩/d)	(227)
12.10 塔瑟克炉的优缺点	(228)
12.11 塔瑟克炉的进展	(229)
参 考 文 献	(229)
第 13 章 德国鲁奇-鲁尔盖斯炉(Lurgi-Ruhrgas Retort)	(231)
13.1 鲁奇-鲁尔盖斯炉的开发历程	(231)
13.2 鲁奇-鲁尔盖斯炉的工艺及冷凝回收系统流程	(231)
13.3 鲁奇-鲁尔盖斯炉的关键设备—双螺旋混合器	(232)
13.4 鲁奇-鲁尔盖斯炉的中试结果	(233)
13.5 鲁奇-鲁尔盖斯装置的公用工程	(235)
13.6 鲁奇-鲁尔盖斯装置的三废及其处理	(235)
13.7 鲁奇-鲁尔盖斯页岩油工业装置经济	(236)
13.8 鲁奇-鲁尔盖斯炉的优缺点	(239)
13.9 鲁奇-鲁尔盖斯炉的发展	(240)
参 考 文 献	(240)
第 14 章 大工新法干馏技术(大工固体热载体干馏炉)	(241)
14.1 大工新法干馏技术的开发历程	(241)
14.2 大工新法干馏工艺原理流程	(242)
14.3 大工新法干馏工艺的关键设备	(243)
14.4 大工新法干馏小试装置(10kg/h)处理油页岩和褐煤	(244)
14.5 大工新法干馏工业试验装置(150t/d)加工平庄褐煤的情况	(248)
14.6 大工新法干馏加工桦甸颗粒页岩工业装置(800~1600t/d)的方案	(255)
14.7 大工新法干馏加工大庆柳树河油页岩的初步试验和补充试验	(261)
14.8 大工新法干馏工业试验装置(2000t/d)加工柳树河油页岩的工艺流程	(270)
14.9 大工新法干馏工艺的优缺点	(270)
参 考 文 献	(271)
第 15 章 廊坊固体热载体干馏中型试验炉	(273)
15.1 廊坊固体热载体干馏炉的开发历程	(273)
15.2 廊坊固体热载体小型现场干馏试验	(273)
15.3 廊坊固体热载体新型干馏工业试验装置的设计方案	(273)
15.4 廊坊颗粒油页岩固体热载体干馏工艺室内评价装置	(274)
15.5 廊坊颗粒油页岩固体热载体干馏工艺的页岩灰的性质及其利用	(275)
15.6 廊坊颗粒油页岩固体热载体干馏工艺的发展前景	(276)
参 考 文 献	(276)

第 16 章 茂名粉末页岩流化干馏中型试验炉	(277)
16.1 茂名流化干馏中试装置的开发过程	(277)
16.2 茂名流化干馏中试装置的流程	(277)
16.3 茂名流化干馏中试装置的设备	(278)
16.4 茂名流化干馏中试的过程	(279)
16.5 茂名流化干馏中试装置的试验结果	(280)
16.6 茂名流化干馏中试与茂名圆炉生产指标及生产成本对比	(286)
16.7 茂名粉末页岩两器流化干馏工艺的优缺点	(287)
参 考 文 献	(288)
第 17 章 龙江粉末页岩流化干馏中型试验炉	(289)
17.1 龙江粉末页岩流化干馏中型试验炉(2t/h)的开发历程	(289)
17.2 龙江粉末页岩流化干馏中型试验装置的照片及流程	(290)
17.3 龙江粉末页岩流化干馏中型试验主要设备	(291)
17.4 龙江粉末页岩流化干馏中型试验装置的特点	(291)
17.5 龙江粉末页岩流化干馏中型试验加工伊兰油页岩的性质	(292)
17.6 龙江粉末页岩流化干馏中型试验的条件及结果	(293)
17.7 龙江粉末页岩流化干馏中型试验产物的性质	(293)
17.8 龙江粉末页岩流化干馏中型试验减少粉尘油泥的试验	(296)
17.9 龙江页岩流化干馏中型试验的主要结论	(301)
17.10 龙江粉末页岩流化干馏中型试验工艺的优缺点	(301)
参 考 文 献	(301)
第 18 章 油页岩地下原位干馏工艺	(302)
18.1 美国油页岩地下原位干馏工艺的开发历程	(302)
18.2 美国拉勒米能源工艺中心改良式地下垂直干馏	(302)
18.3 美国大西洋公司改良式地下垂直干馏油页岩工艺	(303)
18.4 美国乔开耐狄克斯公司改良式地下水平式干馏油页岩工艺	(306)
18.5 壳牌公司油页岩地下转化工艺	(308)
18.6 埃克森美孚公司地下干馏工艺	(309)
18.7 雪佛龙公司地下干馏工艺	(310)
18.8 美国页岩油公司地下干馏工艺	(310)
参 考 文 献	(311)
第 19 章 油页岩干馏炉型的比较和选择	(313)
19.1 地下干馏与地上干馏的投资及生产费用比较	(313)
19.2 当前世界正运行和正筹建的油页岩干馏炉型	(313)
19.3 油页岩干馏炉型评价的原则	(314)
19.4 世界油页岩干馏炉型的比较	(317)
19.5 世界油页岩干馏炉型的选择	(319)
参 考 文 献	(321)

第1章 油页岩干馏炼油工艺的类别

油页岩干馏分为地下干馏(underground retorting)和地上干馏(aboveground retorting)^[1~3]。地下干馏是指埋藏于地下较深的油页岩不经开采,直接在地下设法加热页岩使其干馏分解、生成页岩油气被导至地面。地下干馏亦称原位干馏、或称就地干馏(in-situ retorting)。地下干馏由于油页岩不需开采,节省了开采费用;但地下干馏生成的油气易向地下岩层泄漏,故油收率不高,且易导致地下的油气污染。地上干馏则是指埋藏不深的油页岩经露天开采或井下开采,送至地面,经破碎筛分至所需的粒度或块度,进入干馏炉内加热干馏,生成页岩油气及页岩半焦或页岩灰;地上干馏的投资一般较地下干馏高,但其油收率也比地下干馏高;地上干馏产生的页岩半焦或页岩灰需适当地处理,最好加以综合利用,否则会导致对环境的不利影响^[1~3]。地下干馏于上世纪后半叶开始在美国先后有多家石油公司开展了地下干馏的中型试验和工业试验,当前壳牌公司等还在进行现场试验。当前地上干馏在中国、爱沙尼亚和巴西等三个国家有工业生产^[4]。

1.1 地下干馏

在地下干馏现场,自地面打若干个加热孔和产物导出孔,直至地下页岩层,热源进入加热孔至页岩进行干馏,生成的油气经导出孔至地面。依据油页岩层受热方式的不同,地下干馏工艺可分为传导加热、对流加热和辐射加热三类。

1.1.1 传导加热

通常是将电热棒插入加热井孔,以热传导方式加热干馏页岩层,使之热解生成页岩油气经导出孔至地面。壳牌公司的地下转化工艺(ICP)即是采用电加热进行导热干馏页岩的方式^[5]。

1.1.2 对流加热

通常是将灼热的烟道气自地面导入加热孔,至页岩层以气体对流的方式加热干馏页岩;或是自地面经加热孔通入空气,设法燃烧一部分页岩,产生热烟气,对页岩进行加热干馏,生成的页岩油气与烟气经导出孔导至地面。雪佛龙公司地下干馏工艺即属于热气体加热技术^[6]。

1.1.3 辐射加热

辐射加热通常采用无线射频的方式,美国劳伦斯利佛摩尔实验室(Lawrence Livermore Laboratory)提出了这个概念,并进行了实验^[7]。

1.2 地上干馏

地上干馏所用的油页岩干馏炉可分成外热式炉和内热式炉等多种炉型^[8]。

1.2.1 外热式干馏炉

外热式干馏炉系指热气体的热量通过炉壁传热至炉内的油页岩而对其进行加热干馏；外热式炉的传热效率低，且不易放大，早期曾有多种外热式炉应用于西欧的页岩油生产的国家；1931~1961年间，爱沙尼亚页岩油厂曾建有戴维逊(Davidson)水平回转式外热式干馏炉多台，日处理油页岩每台仅25t，因传热效率低、处理量低而早已淘汰^[9]。

1.2.2 内热式干馏炉——块状、颗粒、粉末页岩干馏炉

当前世界上用于工业生产的炉子都属于内热式炉，都是连续进料和出料的运行方式。

内热式炉系指气体热载体或固体热载体在炉内直接与油页岩接触、进行加热干馏。内热式炉又可分为块状页岩干馏炉、颗粒页岩干馏炉和粉末页岩干馏炉。块状页岩干馏通常使用热燃烧气或热干馏气(炉出口油气冷凝后收取页岩油后的干馏气加热后的气体)作为气体热载体进行加热干馏；颗粒和粉末页岩通常使用烧热的页岩灰作为固体热载体进行加热干馏。气体热载体的热源通常来自页岩干馏气或页岩半焦燃烧所发出的热量。块状页岩干馏通常在层状炉内进行，即块状页岩在干馏炉内形成不断以垂直方向移动的层状，并有热气体穿过页岩与页岩之间的空隙而加热干馏页岩；块状页岩由于页岩块本身传热系数小、自页岩块表面升温至其中心的传热速率慢，故干馏所需时间约数小时。颗粒页岩干馏通常是与热的固体热载体颗粒混合，而被加热干馏；颗粒页岩由于粒度小、升温快，干馏所需时间仅几分钟或十几分钟。粉末页岩通常是以流态化状态与热的固体热载体粉末(热页岩灰)混合而被加热干馏，流化剂通常是蒸汽或者干馏气。粉末页岩干馏所需时间仅2~3min，干馏温度一般约500℃。粉末和颗粒页岩干馏所需时间比块状页岩所需时间少得多，故干馏强度大，是为优点；但在工艺技术和设备设施上较复杂，特别是炉出口油气的除尘困难。通常，油页岩自矿藏开采出来，经破碎筛分会同时形成块状及颗粒状的页岩，因此对于一座油页岩干馏炼油厂而言，同时配备块状干馏炉、颗粒页岩干馏炉是合理的。但通常的页岩炼油厂仅有块状页岩干馏炉，而舍弃了颗粒页岩。可以将原料页岩全部破碎筛分至颗粒范围以符合颗粒页岩干馏炉对粒径的需要。至于粉末页岩的干馏，虽然具有干馏强度大的优点，但在流化状态下干馏生成的油气出炉时会带出很多的粉尘，处理上比较困难；且将开采出来的原料页岩全部磨碎至粉末状(才能入炉)，这需消耗电力而增加页岩油生产费用，是其缺点。

美国、俄罗斯、爱沙尼亚、中国、澳大利亚和巴西等曾开发多种油页岩干馏炉型。当前，块状页岩干馏炉应用于工业生产的，在我国有抚顺式干馏炉，每台日处理油页岩100t^[10]；在爱沙尼亚有基维特炉(Kiviter)，每台日处理油页岩200t和1000t^[11]；在巴西有佩特罗瑟克斯炉(Petrosix)，每台日处理油页岩1500t和6000t^[12]。当前颗粒页岩干馏炉用于工业生产的有爱沙尼亚葛洛特炉(Galoter)，亦称爱耐飞特炉(Enefit)，每台日处理油页岩3000t^[13]；此外，加拿大开发的塔瑟克(Taciuk)颗粒页岩干馏炉曾在澳大利亚放大^[14]，已在我国抚顺引进并试运，每台日处理颗粒页岩6000t。美国在20世纪60~80年代曾研发了不少干馏炉型，进行了中试和工业试验，其中联合石油公司的干馏炉(Union B)日设计处理量高达1万吨油页岩，是世界上单炉日处理量最高的炉型，曾成功地投入试运^[5,15]。但由于20世纪80年代后期油价低迷，美国开发的炉型都未长期运转而停顿。

以上只是油页岩干馏工艺的概括分类介绍，其中地下干馏工艺不够成熟，本书第十八章作较简短的介绍。有关地上干馏的主要炉型则将在后文分别进行较详细的介绍，包括国内的

抚顺炉、茂名圆炉、气燃式方炉等成熟的块状页岩干馏炉工艺及上海博申、哈尔滨龙江煤化工公司及大连理工大学等正开发的粉末和颗粒页岩干馏工艺^[16]；以及国外的基维特炉、佩特洛瑟克斯炉、联合油公司炉等成熟的块状页岩干馏工艺，葛洛特炉颗粒页岩干馏和塔瑟克炉、鲁奇-鲁尔盖斯炉(Lurgi-Ruhr gas)等成熟或不太成熟的颗粒页岩干馏工艺等^[17]。

参 考 文 献

- [1] 钱家麟, 王剑秋, 李术元, 等. 油页岩——石油的补充能源. 北京: 中国石化出版社, 2008.
- [2] 钱家麟, 王剑秋, 李术元. 世界油页岩资源利用和发展趋势. 吉林大学学报: 地球科学版, 2006, 36(6): 877~887.
- [3] Qian J. L., Wang J. Q.. World oil shale retorting technologies. International Conference on Oil Shale, Paper No. rtos A-118: Natural Resources Authority, Amman, Jordan, 2006.
- [4] 李术元, 耿层层, 钱家麟. 世界油页岩勘探开发加工利用现状——并记 2013 年国外两次油页岩会议. 中外能源, 2014, 19(1): 25~33.
- [5] Vinegar H.. Shells in-situ conversion process for oil shale. 26th Oil Shale Symposium Abstracts. Colorado School of Mines, Golden, Colorado, USA, P. 4, 2006.
- [6] Guthrie H.. US Department Energy (DOE) oil shale program. 26th Oil Shale program. 26th Oil Shale Symposium. Abstract, Colorado School of Mines, Golden, Colorado. USA, 2006.
- [7] Burnham A. K.. Low radio frequency processing of large volumes to produce petroleum-like shale oil. 26th Oil Shale Symposium, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, USA, 2006.
- [8] Burnham A. K., McConagby J. R.. Comparison of the acceptability of various oil shale processes. 26th Oil Shale Symposium, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, USA, 2006.
- [9] Veiderma M.. Estonian oil shale - Resources and usage, Oil Shale, 2003, 20(3S): 285~303.
- [10] Yin L.. Current status of oilshale industry in Fushun, China. International Conference on oil shale, Paper No. rtos - A106, Natural Resources Authority, Amman, Jordan, 2006.
- [11] Sonne J. U., Doilov S.. Sustainable utilization of oil shale resources and comparison of contemporary technologies used for oil shale processing, Oil Shale, 2003, 20(3S): 311~323.
- [12] Martignoni W. P., Rodrigues W. J. B.. Petrosix oil shale technology learning curve, 26th Oil Shale Symposium, Poster session, No. 18, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, USA, 2006.
- [13] Golubev N.. Solid heat carrier technology for oil shale retorting, Oil Shale, 2003, 20(3S): 324~332.
- [14] Schmidt S. J.. New directions for shale oil: path to a secure new oil supply well into this century: on the example of Australia, Oil Shale, 2003, 20(3S): 333~346.
- [15] Barnett W. I.. Union Oil Company of California oil shale retorting processes, In Allred V. D., Oil shale processing technology, East Brunswick, The Center for Professional Advancement, 1982: 169~187.
- [16] 王伯长, 李文跃. 中国油页岩地面干馏工艺技术发展现状//王红岩, 等. 油页岩资源及开发工艺技术. 北京: 石油工业出版社, 2010.
- [17] 李术元, 唐勋, 何继来, 钱家麟. 世界油页岩开发利用的近况——并记国外两次油页岩会议. 中外能源, 2013, 18(1): 1~11.

第 2 章 抚顺式干馏炉

抚顺式干馏炉，又名抚顺内热式干馏炉，简称抚顺炉。

抚顺炉是油页岩干馏和页岩半焦气化过程连接在一起的直立圆筒型炉，上部为干馏段，下部为气化段。油页岩干馏所需的热量是由两部分热源提供：(1)页岩半焦与从炉底通入的带饱和水蒸气的空气(主风)在气化段发生燃烧气化反应所产生的高温气化气，向上进入干馏段加热页岩，是为第一种热源；(2)另向干馏炉中部通入在干馏炉外被蓄热炉加热了的热循环气，向上进入干馏段加热页岩，是为页岩干馏的第二种热源。抚顺炉结构简单，设备耐用，维修和操作管理方便，能利用页岩半焦中的固定碳，加工低品位油页岩时热量能自给有余，并经过长期工业生产考验，是一种经济性好、可靠性强的油页岩干馏炉型，但单台油页岩处理量低，相对于实验室铝甄含油率^[注]的油收率低^[1~3]。图 2-1 为抚顺式干馏炉的外观^[1]。

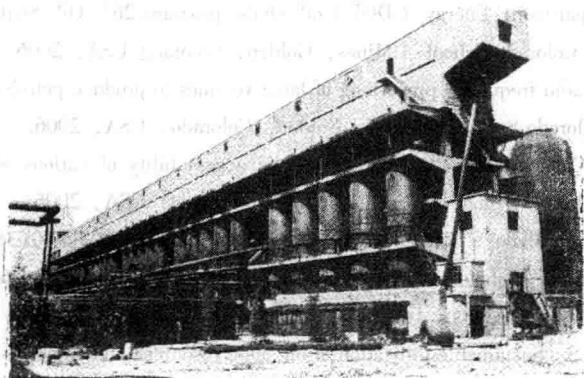


图 2-1 抚顺式干馏炉外观

2.1 抚顺炉工艺的开发历程

抚顺炉的工业应用已有 80 多年的历史，它的发展历程可分为 4 个阶段：初创时期(20 世纪 20~40 年代)；发展时期(20 世纪 50~60 年代)；停滞时期(20 世纪 70~90 年代)；复兴时期(2000 年至今)。

2.1.1 抚顺炉的形成和工业化开始时期(20 世纪 20~40 年代)^[1~3]

抚顺炉始建于日本侵占我国东北的时期。1925 年起，在抚顺先后进行过 10t/d 和

[注]油页岩由有机质和矿物质组成，有机质主要为固体的油田质，及少量沥青质，故油页岩并不含液态的页岩油，所谓的油页岩铝甄含油率(或简称含油率)是俗称，及是根据行业的标准，将规定数量和粒度的油页岩放入实验室标准铝甄内，在外底部按规定的加热升温程序，将油页岩加热到 500~520℃，使其干馏热解生成页岩油气和半焦页岩油气出铝甄，经冷凝后，获得的页岩油的重量相对于油页岩的适量百分数，称为油页岩的铝甄含油率。

40t/d 的内热式干馏试验，形成了上段为页岩干馏，下段为页岩半焦气化的内热式干馏炉型。1930 年，建成 80 台每台每日处理能力 50t 的工业生产炉。1934 年改装为每台日处理 100t，形成早期的抚顺式细腰和粗腰炉两种炉型，如图 2-2 和图 2-3 所示^[1]。

1939 年和 1945 年又分别建成 180t/d 和 200t/d 的抚顺炉各 60 台，后者仅进行了部分炉的试生产。至此，抚顺炉经历 20 年的建设和生产，基本炉型初步形成，处理能力逐步扩大，但炉型中尚存在不少问题，如炉子结构应采用粗腰或细腰这个关键问题也未定论。由于结构和工艺上的缺点，使得对原料的要求较严，油收率较低，油泥很多。生产中由于炼炉（页岩焦结和熔结），经常造成炉子无法正常运转。抚顺炉始建阶段（1930~1945 年）的技术指标见表 2-1。

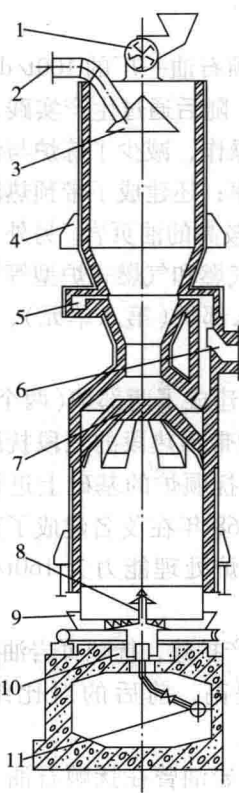


图 2-2 50t/d 抚顺细腰炉

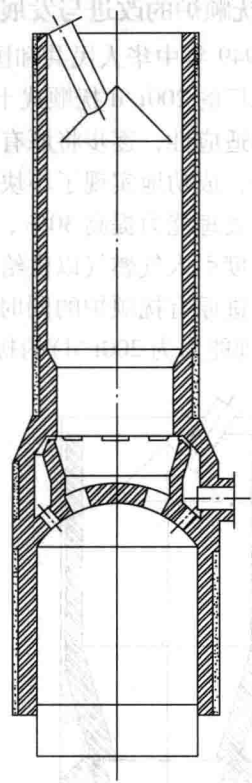


图 2-3 100t/d 抚顺粗腰炉

- 1—加料器；2—炉出口管；3—气收集伞；4—支座；5—混合室；
6—循环气入口；7—拱台；8—风头；9—灰皿；10—水封；11—主风管

表 2-1 20 世纪 40 年代及 50 年代后期抚顺炉页岩油生产对比

指标	1930~1945 年	20 世纪 50 年代后期
页岩油最高年产量/ 10^4 t	25.7	78 *
油页岩最高年加工量/ 10^4 t	883	2063 *
所加工的油页岩热值/(kJ/kg)	6113	5079
页岩利用率/%	60~65	80
干馏炉运转率/%	80	95